

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Nutricionizam

Kim Bolarić

6988/N

**Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na
parametre boje sokova od jabuke**

ZAVRŠNI RAD

Naziv znanstveno-istraživačkog ili stručnog projekta:

Primjena visokog hidrostatskog tlaka u proizvodnji funkcionalnih sokova na bazi voća i povrća
(IP-2016-06-4006)

Mentor: doc. dr.sc. *Danijela Bursać Kovačević*

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Nutricionizam

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za procese konzerviranja i preradu voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na parametre boje sokova od jabuke

Kim Bolarić 6988/N

Sažetak:

Svrha ovog rada bila je detaljno pretražiti literaturu o utjecaju obrade visokim hidrostatskim tlakom (VHT) na parametre boje sokova od jabuke. Jabuke su od velikog interesa za proizvođače sokova i općenito proizvoda od jabuke zbog osebujnog nutritivnog sastava (fenolni spojevi, vitamini, vlakna) i povoljnih učinaka na degenerativne, kardiovaskularne, pa i neke maligne bolesti. Obrada VHT-om, kao nova ne toplinska metoda obrade, ima sve veću primjenu u proizvodnji sokova od jabuka jer ne dovodi do značajnih promjena hranjivih, funkcionalnih i senzorskih svojstava hrane. Ovom tehnologijom učinkovito se inaktiviraju mikroorganizmi čime se povećava sigurnost i produženi rok trajanja, a pored toga povoljno utječe na parametre boje sokova jer inaktivira enzime koji su zaslužni za procese posmeđivanja.

Ključne riječi: visoki hidrostatski tlak (VHT), jabuka, sok od jabuke, boja

Rad sadrži: 25 stranica, 6 slika, 1 tablicu, 72 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski jezik

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Danijela Bursać-Kovačević

Datum obrane: 9.srpanj, 2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University undergraduate study Nutrition

Department of Food Engineering

Laboratory for Technology of Fruit and Vegetables Preservation and Processing

Scientific area : Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technoogy

Influence of high hydrostatic pressure (HHP) on color parameters of apple juice

Kim Bolarić 6988/N

Abstract:

The aim of this work was to review the scientific literature on the topic of high pressure processing (HPP) effects on the color parameters of apple juices. Apples are of great interest to juice producers due to their nutritional composition (phenolic compounds, vitamins, fibers) and proven beneficial effects on degenerative, cardiovascular and some malignant diseases. HPP has established itself as one of the most suitable nonthermal technologies applied to fruit juices primarily due to minimal on the nutritional, functional and sensory properties of food. This technology enables microbial inactivation, thus improve the food safety and prolong shelf-life of juices. In addition, HPP constitutes as an effective technology to inactivate the enzymes in fruit juices, therefore could have positive effects in the color stability.

Keywords: high pressure processing (HPP), apple, apple juice, color

Thesis contains: 25 pages, 6 figures, 1 table, 72 references

Original in: Croatian Final work in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: PhD Danijela Bursać Kovačević, Assistant professor

Defence date: July 9th, 2018

Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Jabuka.....	2
2.1.1. Nutritivni i biološki značaj jabuke.....	3
2.1.2. Sok od jabuke.....	6
2.1.3. Stabilnost boje soka od jabuke.....	7
2.2. Visoki hidrostatski tlak	10
2.2.1. Primjena visokog hidrostatskog tlaka u industriji voćnih sokova.....	12
2.2.2. Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na boju voćnih sokova.....	15
3. ZAKLJUČAK.....	17
4. LITERATURA.....	18

1. UVOD

Vizualni izgled hrane i pića izrazito je važan jer utječe na prvi dojam odabira kod potrošača, a poznato je da boja utječe i na druge senzorske karakteristike kao što je identitet i intenzitet okusa ili percepcija slatkoće. Sok od jabuka jedna je od najpopularnijih prerađenih namirnica na svijetu, a parametri boje i okusa važni su pokazatelji kvalitete. Boja soka od jabuka vrlo je nestabilna te se mijenja tijekom i/ili nakon obrade zbog enzimskih reakcija, pri čemu polifenol oksidaza (PPO) i peroksidaze (POD) imaju značajan utjecaj na boju, ali i na okus soka od jabuka. Posmeđivanje, osim što rezultira promjenom boje, također utječe i na promjenu drugih senzorskih svojstava poput okusa, mirisa i teksture, ali narušava i nutritivnu vrijednost. Upravo zbog toga prehrambena industrija voćnih sokova ima veliki izazov sačuvati senzorsku i funkcionalnu kvalitetu.

Obzirom se sokovi u svrhu produljena roka trajanja termički obrađuju pasterizacijom, ovaj postupak može imati i negativan učinak po nutritivne i/ili senzorske značajke. Kako bi se nadvladale prepreke konvencionalnih termičkih postupaka, u novije vrijeme sve se više ispituje mogućnost primjene novih ne toplinskih metoda obrade. Američka Agencija za hranu i lijekove (FDA) uvrstila je obradu visokim hidrostatskim tlakom (VHT) kao moguću alternativu dosad primjenjivanoj pasterizaciji. Rezultati dosadašnjih znanstvenih istraživanja ukazuju na svijetlu budućnost primjene ove tehnologije u industrijskom sektoru prerade voćnih sokova, obzirom da kao hladni proces pasterizacije ne dovodi do značajnih promjena nutritivnih, funkcionalnih i senzorskih svojstava hrane, a istovremeno osigurava mikrobiološku sigurnost i produženi rok trajanja.

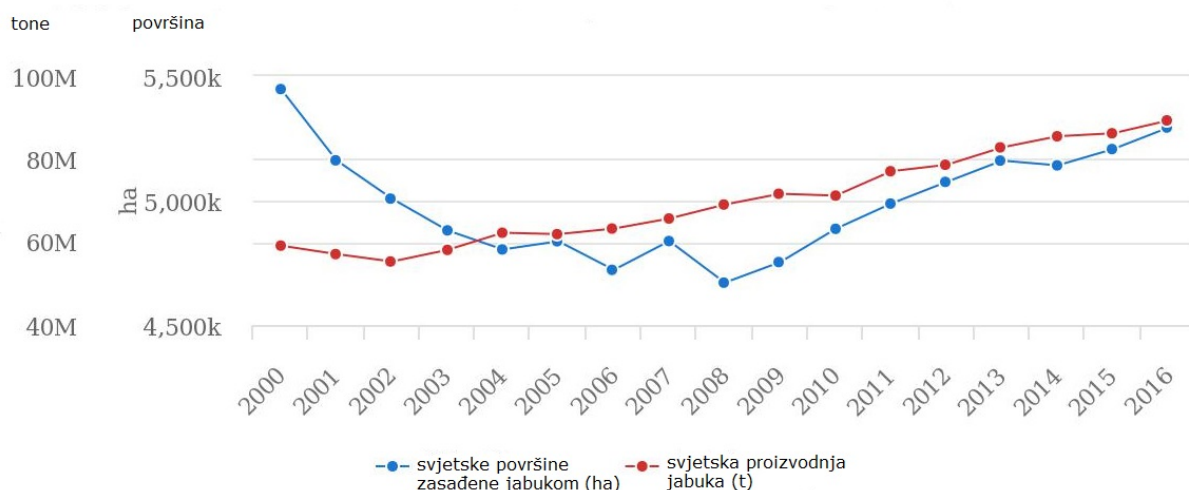
Stoga, cilj ovog rada bio je detaljno pretražiti znanstvenu literaturu o utjecaju VHT tehnologije na stabilnost boje sokova od jabuke.

1. TEORIJSKI DIO

1.1. Jabuka

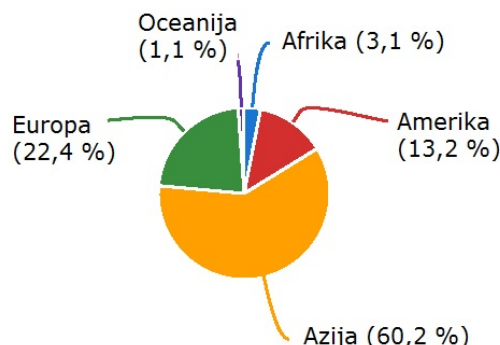
Jabuka, biljna vrsta roda *Malus domestica* iz porodice ružovki (*Rosaceae*) ukusan je plod i drugo najviše konzumirano voće zbog njezine široke geografske i sezonske dostupnosti (Bondonno i sur., 2017). Od velikog je interesa za proizvođače sokova i općenito proizvoda od jabuke zbog nutritivnog sastava i povoljnih učinaka na degenerativne, kardiovaskularne, pa i neke maligne bolesti (Hertog i sur., 1994; Shahidi i Ambigaipalani, 2015; Bondonno i sur., 2017). Bogata je prije svega polifenolima, biljnim metabolitima kojima se pripisuje značajna antioksidacijska aktivnost, čime se potvrđuju teze o njenom blagotvornom djelovanju na unaprjeđenje zdravlja (Proteggente i sur., 2002). Pokazano je da se dnevnom konzumacijom jabuke u količini većoj od 110 g značajno smanjuje rizik od srčanog udara za 49 % (Hertog i sur., 1994).

Danas postoji oko 10 000 različitih sorti jabuke, koje se međusobno osim po obliku, boji i vremenu dozrijevanja, razlikuju i prema okusu (slatkoći ili kiselosti), teksturi i sočnosti (Janick i sur., 1996). Prema FAOSTAT podacima (Slika 1) proizvodnja jabuka na svjetskoj razini u razdoblju od 2000. do 2016. godine u kontinuiranom je porastu, unatoč tome što se smanjuju površine pod nasadima jabuka te se u novije vrijeme intenzivno radi na povećanju proizvodnje po jedinici površine.



Slika 1. Prikaz ukupne svjetske proizvodnje jabuka (t) i površina pod jabukom (ha) (FAOSTAT, 2018)

U svjetskoj proizvodnji jabuka od 2000. do 2016. godine (Slika 2), vodeća je Azija s udjelom od 60,2 %, pri čemu se Kina izdvaja kao najveći svjetski proizvođač jabuka (oko 38 % svjetske proizvodnje), a slijede ju SAD, Iran, Turska, Poljska, Italija, i dr.



Slika 2. Udjeli (%) u svjetskoj proizvodnji jabuka od 2000. do 2016. godine (FAOSTAT, 2018)

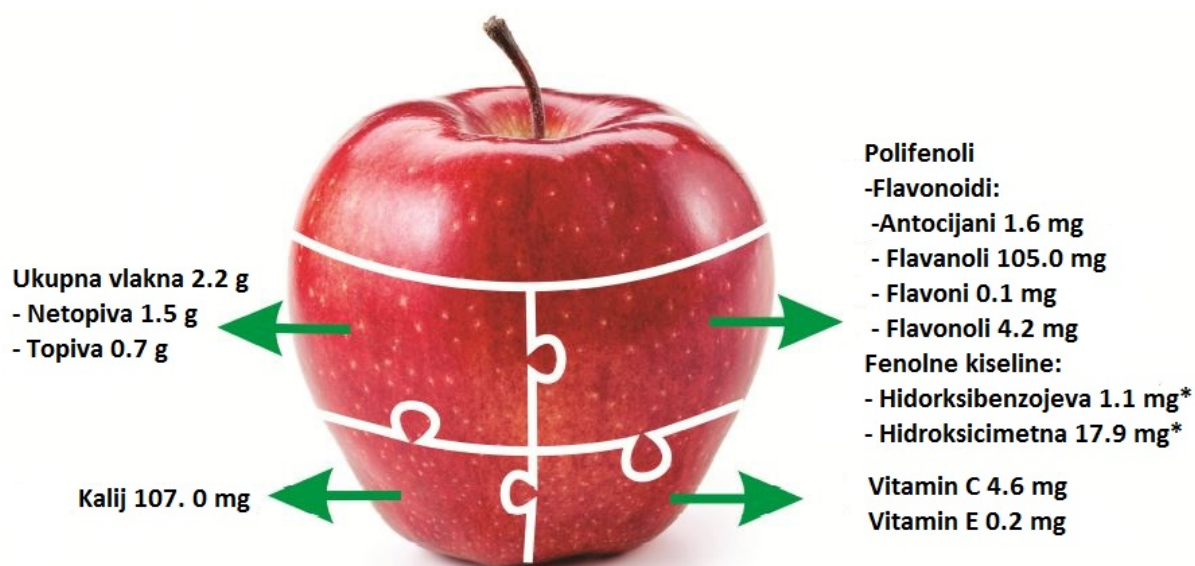
2.1.1. Nutritivni i biološki značaj jabuke

Jabuke se konzumiraju tijekom cijele godine kao svježi plodovi ili prerađene u proizvode, ne samo zbog senzorske i nutritivne kvalitete, već i zbog tehnološkog napretka u području prerade i konzerviranja (Braga i sur., 2013). Sastoje se od pretežno vode (85%) i ugljikohidrata (14%), uključujući vlakna i šećer (prije svega fruktoza). Jabuke također sadrže **vitamine** (posebice vitamin C i vitamin E), **minerale** (uglavnom kalij) i **polifenole** (US Department of Agriculture, 2015). Važan su doprinos pravilnoj prehrani upravo zbog visokog sadržaja polifenola te sudjeluju u prevenciji kardiovaskularnih bolesti (KVB), a pokazalo se da jabuke imaju blagotvorno djelovanje na upalne procese i hiperglikemiju (Bodonno i sur., 2017). Hiperglikemija, čimbenik rizika za dijabetes, može se spriječiti smanjenjem unosa glukoze u tanko crijevo. Dokazano je da polifenoli jabuka mogu utjecati na unos glukoze u tanko crijevo inhibiranjem aktivnosti transportera glukoze (Manzano i Williamson, 2010). Druga važna komponenta jabuka koja može utjecati na hiperglikemiju je pektin, koji može usporiti apsorpciju glukoze (Furness, Cottrell i Bravo, 2015).

Jabuke sadrže otprilike 2,21 g/100 g ukupnih vlakana, od čega je 70 % netopivo, uključujući celulozu i hemicelulozu, a 30% su topljiva vlakna, uglavnom pektini, koji se ne metaboliziraju u gornjem probavnom traktu kod ljudi (Li i sur., 2002). Dobri zdravstveni učinci pektina pripisuju se njegovoj sposobnosti snižavanja kolesterola (Aprikiani sur., 2003),

usporavanja apsorpcije glukoze (Schwartz i sur., 1988) i povećanja proizvodnje masnih kiselina kratkog lanca u debelom crijevu (Andoh i sur., 2003).

Jabuke i njihovi proizvodi sadrže značajne količine **fenolnih spjeva** (Khanizadeh i sur., 2008). Polifenoli pripadaju skupini organskih spojeva sa visokom antioksidacijskom aktivnosti, a mogu se koristiti za sprječavanje kvarenja hrane i za zaštitu vitamina u hrani od oksidacije (Suárez- Jacobo i sur., 2011). Nadalje, unos polifenola može spriječiti maligna oboljenja i visok krvni tlak (Shoji i Miura, 2014). Vodeći fenolni spojevi u jabuci su hidroksicimetne kiseline (klorogenska, kafeinska, *p*-kumarinska, ferulinska) te flavonoidi poput kvercetina, katehina, epikatehina, procijanidina (B1, B2, trimer C1), rutina i floridzina. Zastupljenost fenola u jabukama ovisi o sorti, vrsti tkiva (epikarp, mezokarp, endokarp), stupnju zrelosti i uvjetima skladištenja (Francini i sur., 2013; Alberti i sur., 2017). Kora jabuke sadrži znatno više polifenola od usplođa, što je pripisano obrambenoj ulozi kore u zaštiti ploda od štetnog UV svjetla i napadačkih patogena (Solovchenko i Schmitz-Eiberger, 2003). Polifenoli koji se obično nalaze u kori jabuke su flavonoidi (procijanidini, katehin, epikatehin, floridzin i kvercetinški glikozidi), hidroksibenzojeve i hidroksicinaminske kiseline (klorogenska kiselina) (Escarpa i Gonzalez, 1998). Svi ovi spojevi su u znatno nižim koncentracijama određeni u usplođu jabuke, izuzev klorogenske kiseline. Količine fenolnih spojeva u jabukama značajno variraju između sorti te na njih utječe geografska regija uzgoja, vegetacija i skladištenje. Zabilježen je značajan porast sadržaja kvercetina u kori jabuka izloženih sunčevoj svjetlosti, dok su udjeli katehina, floridzina i klorogenske kiseline uglavnom neovisni o izloženosti svjetlu tijekom dozrijevanja (Awad i sur., 2001). Prema rezultatima Zardo i sur. (2013), epikarp i mezokarp čine 7-10 %, odnosno 73-83 % ukupne mase ploda jabuke. Međutim, flavonoli i antocijani su prisutni samo u epikarpu. Monomerni i polimerni flavan-3-oli su glavni fenoli epikarpa i mezokarpa i mogu predstavljati do 60 % ukupnih fenolnih spojeva u jabuci. Floridzin (dihidrokalikon) se koristi kao biomarker proizvoda na bazi jabuke, a nalazi se u epikarpu i mezokarpu.



Slika 3. Prikaz kemijskog sastava jabuke na 100 g ploda (Bodonna i sur., 2017)

Tijekom prerade jabuke u sok dolazi do značajnih gubitaka fenolnih spojeva, pri čemu su hidrofilne jedinice, poput klorogenske kiseline, određene u većim koncentracijama u soku u usporedbi s ostalim hidrofobnim fenolnim spojevima (Oszmianski i sur., 2009). Ipak, vrsta i količina fenola u soku jabuke variraju značajno u ovisnosti o sortimentu (Gliszczyńska-Swigło, i Tyrakowska, 2003), kao i o tipu soka (bistri, mutni ili koncentrirani). Prema rezultatima istraživanja Markowskog i Plocharskog (2006) sadržaj ukupnih fenola u mutnom soku od jabuke (sorata Jonagold, Sampion, Idared i Topaz) iznosio je prosječno 462 mg/L, a u bistrom 160 mg/L, dok je udio u svježim jabukama prosječno iznosio 857 mg/L. Roupas i Noakes (2010) su u soku jabuke utvrdili 50 % niži udio flavonoida i 3 % niži udio klorogenske kiseline u odnosu na svježiju jabuku.

Askorbinska kiselina (vitamin C) je drugi važan antioksidans prisutan u jabuci (Gliszczyńska-Swigło i Tyrakowska, 2003; Miller i Rice-Evans, 1997). Prema istraživanju Gliszczyńska-Swigło i Tyranovska (2003) svježe prešani sokovi od jabuka sadržavali su niske koncentracije vitamina C (<0,6 mg/L) te nije pronađena njegova korelacija s TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity assay) vrijednosti. Rezultati ovog istraživanja upućuju da fenolni spojevi značajno više doprinose antioksidacijskom kapacitetu od vitamina C. Ovi rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja Gardner i sur. (2000) gdje je utvrđeno da se vitamin C u sokovima od jabuka nalazi u niskim koncentracijama (0,6-0,7

mg/L) te su fenolni spojevi određeni kao ključni u doprinosu antioksidacijskoj aktivnosti sokova od jabuka.

2.1.2. Sok od jabuke

Sok od jabuka jedna je od najpopularnijih prerađenih namirnica na svijetu (Ramos-Aguilar i sur., 2017). Kemijske i nutritivne komponente u soku od jabuke poput šećera, kiselina, fenolnih spojeva, pigmenata, izravno utječu na kvalitetu soka od jabuke, a udjeli ovih komponenata pod utjecajem su procesnih parametara proizvodnje (Kadalkal i Nas, 2003; Suárez-Jacobo i sur., 2011).

Prema Pravilniku (NN 48/2013) voćni sok predstavlja proizvod koji se proizvodi se od jestivog dijela voća, pri čemu su boja, aroma i okus karakteristični za voće od kojeg potječe. Voćni sokovi se mogu razvrstati prema sadržaju netopljivih sastojaka (suspenzoida) voća u tri kategorije: bistri, mutni i kašasti. Kod proizvodnje bistrih sokova tehnološke operacije se temelje na postupcima uklanjanja netopljivih čestica, poput pektina, koji utječe na mutnoću sokova. Taj proces naziva se depektinizacijom i provodi se pomoću enzimatskih preparata, čime se smanjuje viskoznost i omogućava lakše odvajanje netopljivih čestica. Suprotno je u proizvodnji mutnih i kašastih sokova, gdje se nastoji zadržati što jednakomjernija raspodjela čestica koje pogoduju mutnoći soka. Mutni sok od jabuka ima niži sadržaj šećera i viši sadržaj pektina i polifenola od bistrog soka od jabuka, no vidno niži sadržaj pektina i polifenola u usporedbi s cijelim plodovima jabuka (Ravn-Haren i sur., 2013).

Za proizvodnju kvalitetnog soka, neophodno je da voće bude zdravo i zrelo. Stupanj zrelosti utječe na sadržaj suhe tvari, aromatičnih i ostalih sastojaka u voću koji doprinose senzorskim svojstvima soka, kao i iskorištenju procesa. Proizvodnja soka od jabuke započinje prihvatom sirovine, koja se potom pere i probire. Za pranje jabučastog voća koriste se uređaji sa miješalicom ili aeracija vode (zasićivanje vode kisikom). Zatim slijedi proces mehaničkog usitnjavanja jabuka pomoću mlinova čekićara ili sličnih, te proces prešanja. Usitnjavanjem voća razara se tkivo, pri čemu se oštećuju stanice pa je olakšano izdvajanje soka i istjecanje tekućine. Kod prešanja najčešće se koriste hidraulične preše koje rade osnovu Pascalovog zakona. Zatim slijedi proces bistrenja pektolitičkim enzimima (depektinizacija) soka kod proizvodnje bistrih sokova. Bistrenje obuhvaća procese i operacije kojima se uklanjaju čestice mutnoće, poput biljnih ostataka koji nisu topivi u vodi (vlakana, celuloze) i koloidnih makromolekula (pektina, proteina). Po završetku bistrenja, sok se dekantira, centrifugira i filtrira. Filtracijom se dodatno uklanjaju sve čestice koje mogu prouzročiti mutnoću i nisu se

izdvojile u talog tijekom bistrenja, čime se dobiva potpuno bistar sok. Kod mutnih sokova proces proizvodnje je vrlo sličan proizvodnji bistrih sokova, ali se izostavlja bistrenje, tj. depektinizacija i filtracija. U završnu obradu ulazi eventualna korekcija šećernim sirupima i kiselinom (u skladu s normama), deaeracija, pasterizacija i punjenje u odgovarajuću ambalažu. Za korekciju kiselosti pogodne su limunska i jabučna kiselina. Uslijed oksidacijskih procesa, tijekom prerade, sok se osim nutritivno, može i senzorski promijeniti što se može uočiti po promjeni boje. Da bi se ova pojava spriječila iz soka se uklanja jedan dio zraka tj. kisika u procesu deaeracije. Ipak, deaeracijom se mogu postići i negativni efekti, jer se zajedno sa zrakom gube i neki aromatični spojevi, uslijed čega se može narušiti i senzorsko svojstvo mirisa soka (Lovrić i Piližota, 1994).

Voćni sokovi uobičajeno se konzerviraju fizičkim postupcima primjenom visokih temperatura (pasterizacijom), pri čemu se bistri sokovi mogu pasterizirati u kontinuiranom postupku putem pločastih ili cijevnih izmjenjivača topline, ili nakon punjenja u boce u tunelskom pasterizatoru (Lovrić i Piližota, 1994). Komina jabuke je glavni nusproizvod koji generira industrija prerade sokova od jabuka, predstavlja oko 25 % mase cijelih plodova, a njegovo zbrinjavanje uključuje dodatne troškove i zagađenje okoliša. Međutim, komina jabuke predstavlja važan izvor za komercijalnu proizvodnju pektina, koji je kao heteropolisaharid, široko korišten u mnogim industrijskim sektorima zbog svojih funkcionalnih svojstava u vidu sredstva za želiranje, stabiliziranje, emulgiranje i zgušnjavanje (Wang, Chen, i Lü, 2014).

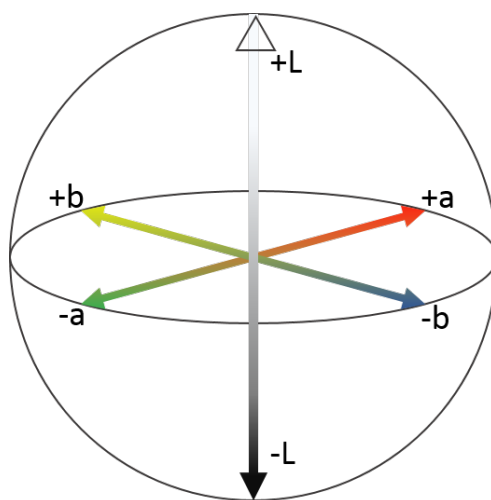
2.1.3. Stabilnost boje soka od jabuke

Boja je subjektivni doživljaj promatrača, a nastaje kao rezultat međudjelovanja svjetlosti, površine promatranog predmeta i ljudskog vida. Pomoću metrike boja omogućeno je objektivno i standardizirano određivanje tona, zasićenosti i svjetline uz pomoć brojčanih pokazatelja (Schanda, J., 2007). Mjerenje boje provodi se **kolorimetrijom**, pomoću kolorimetra. Za razliku od subjektivnih izraza koji obično koriste za verbalno opisivanje boja, kolorimetri prikazuju boje numerički prema međunarodnim standardima. Za potrebe prehrambene industrije najšire je u primjeni sustav razrađen po uputama *CIELab* (Commission Internationale de L'Eclairage – Međunarodna komisija za regulaciju svjetla). Budući da je model $L^*a^*b^*$ trodimenzionalni model, može se vizualizirati kao cilindrični koordinatni sustav (Blum, 1997). Ovaj model koristi prostornu prezentaciju koja mjeri boju prema njezinom tonu, zasićenosti i svjetlini. Vrijednost L (eng. *Lightness*) predstavlja svjetloću boje ili luminanciju, pri čemu više L vrijednosti ukazuju na slabiju obojenost,

odnosno svjetlije osvjetljenje, a niže L vrijednosti ukazuju na tamnije obojenje (L=100 apsolutno bijelo; L=0 apsolutno crno). Vrijednost H (engl. *Hue angle*) predstavlja ton boje ili tonalnost tj. vizualni je doživljaj i predstavlja osjet izazvan različitim dijelovima spektra uz jednaku svjetloću. Izračunava se kao $H = \arctan(b/a)$ te predstavlja kotangens kuta prema osi apscisa, na vodoravnoj površini nekog stalnog L. Vrijednost C (*Chroma, Saturation*) predstavlja intenzitet boje ili zasićenost boje koja se izračunava prema formuli:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (1)$$

gdje su a i b parametri boje te predstavljaju odnos zelene i crvene, odnosno žute i plave komponente. Negativna a vrijednost označava zelenu, dok pozitivna a vrijednost označava crvenu boju. Analogno, negativna b vrijednost označava plavu, dok viša pozitivna b vrijednost označava žutu boju. Niža C vrijednost ukazuje na nižu čistoću boje (Otha i Robertson, 2005) (Slika 3).



Slika 4. Prikaz modela boja CIE Lab sustava (Otha i Robertson, 2005)

Pomoću ovog sustava omogućeno je i brojčano određivanje razlike boja, na osnovi kojega se može utvrditi da li je razlika među dvije boje primjetna. U prostoru boja $L * a * b$, razlika u boji može se izraziti kao numerička vrijednost, $\Delta E * ab$, što označava veličinu razlike u boji, ali ne na način na koji su boje različite. Vrijednost $\Delta E * ab$ definirana je sljedećom jednadžbom:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

Vizualni izgled hrane i pića izrazito je važan jer utječe na prvi dojam odabira kod potrošača. Kao glavna komponenta izgleda, boja je pokazatelj ukusnosti i kvalitete hrane i pića i treba biti unutar očekivanog raspona koji ovisi o vrsti i podrijetlu prehrambenog proizvoda. Prema tome, boja će vjerojatno utjecati i na kupnju proizvoda. Osim toga, poznato je da boja utječe i na druge senzorske karakteristike kao što je identitet i intenzitet okusa ili percepcija slatkoće. Primjerice, fenolni spojevi sudjeluju u procesu posmeđivanja, što može biti nepoželjno u slučaju svježeg voća ili povrća, ali može biti povezano s kriterijima kvalitete nekih prehrambenih proizvoda, posebice pića (Putnik i sur., 2017a; Deun i sur., 2015).

Polifenoli odgovorni za obojenost u jabukama su antocijani, a nalaze samo u epikarpu, te flavonoli, odgovorni za blijedo žuto obojenje mezokarpa jabuke (Deun i sur., 2015). Obojenost soka jabuke mijenja se već tijekom prvih faza prerade, i to uslijed enzimskog posmeđivanja koje započinje čim se jabuke prerežu, odnosno čim se razori stanična struktura. Posmeđivanje, osim što rezultira promjenom boje, također utječe i na promjenu drugih senzorskih svojstava poput okusa, mirisa i teksture, ali narušava i nutritivnu vrijednost (Queiroz i sur., 2008; Jiang i sur. 2016; Putnik i sur., 2017b).

Enzim polifenol-oksidadaza (PPO) katalizira oksidaciju monofenolnih spojeva u *o*-difenole, koji se potom oksidiraju do vrlo reaktivnih *o*-kinona. U drugom koraku *o*-kinon prelazi u 3-hidroksifenol koji u reakciji s benzokinonom daje katehol i kinol. Treći korak predstavlja spontanu reakciju pretvorbe hidroksikinona u smeđe obojene spojeve, tzv. melanoide (Queiroz i sur., 2008).

Razlike u tonovima i intenzitetu posmeđivanja povezani su s udjelom supstrata (fenolnih spojeva), brzinom enzimske reakcije i čimbenicima okoline kao što su pH, temperatura, prisutnost redukcijskih tvari i metalnih iona. Brojna su istraživanja pokušala utvrditi korelaciju između intenziteta posmeđivanja i fenolnog sadržaja ili PPO aktivnosti, ali postoje neki kontradiktorni rezultati u literaturi. Prvi je izazov bio pronaći prikladan način mjerenja stupnja posmeđivanja (Deun i sur., 2015). Amiot i sur. (1992) su simultanim mjerenjem apsorbancije na 400 nm i netopljivih smeđih pigmenata (L^* parametar u sustavu boja CIE Lab) zaključili da se na ovaj način može utvrditi stupanj posmeđivanja u 11 sorata jabuke prije i neposredno nakon mljevenja. Također, stupanj posmeđivanja dobro je korelirao sa padom koncentracije flavan-3-ola, dok se stupanj zrelosti jabuke nije pokazao značajnim

čimbenikom u određivanja stupnja posmeđivanja. Protiv posmeđivanja soka od jabuke, često se dodaje askorbinska kiselina, a istraživanje pokazalo je da je dodatak askorbinske kiseline u koncentraciji 1.8 mM tijekom 4h imao pozitivan učinak (Özoglu i sur., 2002).

2.2. Visoki hidrostatski tlak

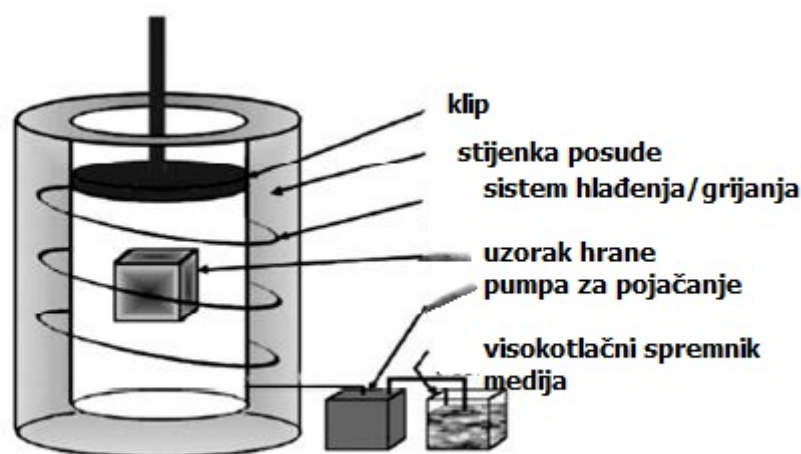
Proces obrade visokim hidrostatskim tlakom (eng. High Pressure Processing – HPP, hrv. VHT) je relativno nova ne termičke metoda obrade hrane koja može biti u tekućem ili krutom obliku, s ili bez pakiranja. Uključuje primjenu visokih tlakova (100-1000 MPa) pri temperaturama od 0 °C do 100 °C kroz kratko vrijeme (nekoliko sekundi do preko 20 minuta), najčešće pomoću vode kao medija za prijenos tlaka (Andres i sur., 2015). VHT se široko koristi u proizvodnji pakiranog povrća, voća, mesa, plodova mora i mliječnih proizvoda (Huang i sur., 2017).

Glavni problem industrije voćnih sokova odnosi se na gubitak senzorske i funkcionalne kvalitete, do koje dolazi uslijed termičke pasterizacije. VHT je alternativna tehnika toplinskim tretmanima koja se provodi s ciljem uništenja patogenih mikroorganizama kako bi se povećavala sigurnost i rok trajanja obrađenih proizvoda (Mújica-Paz i sur., 2011; Huang i sur., 2014). Američka Agencija za hranu i lijekove (FDA) uvrstila je VHT kao moguću ne-termičku metodu pasterizacije zamjenjujući pri tom tehnologiju termičke pasterizacije. Dobra je alternativna tehnika toplinskim tretmanima jer kao hladni proces pasterizacije ne dovodi do značajne promjene hranjivih, funkcionalnih i senzorskih svojstava hrane, a povećava sigurnost i rok trajanja lako pokvarljive hrane poput svježeg ili minimalno obrađenog voća i povrća (Subasi i sur., 2017; Andres i sur., 2016; Barba i sur., 2014; Huang i sur., 2014).

Ova tehnologija učinkovita je u inaktivaciji enzima kao što su polifenoloksidaza (PPO), peroksidaza (POD) i pektin-metilesteraza (PME) u proizvodima dobivenim od voća kao što su sokovi (Chang i sur., 2016). Kao ključni parametar VHT tehnologije u inaktivaciji enzima izdvojio se tlak, pa su tako istraživanja pokazala da tlakovi <400 MPa inaktiviraju PPO u malini (*Rubus idaeus*) (Garcia-Palazon i sur., 2004), u kruški (200–400 MPa/25 °C/10 min) (Asaka i sur., 1991) te u soku od jabuke (100 MPa/1 min) (Anese i sur., 1995).

S jedne strane, VHT pruža mogućnost proizvodnje namirnica s maksimalno očuvanim prirodnim svojstvima, a s druge strane tako obrađene namirnice odlikuju se produljenim rokom trajnosti u odnosu na iste proizvedene konvencionalnim metodama obrade, pa je i dobit veća (McClements i sur., 2001). U procesiranju VHT-om, proizvod koji se tretira

postavlja se u tlačnu posudu, koja je uronjena u tekućinu (obično vodu), koja djeluje kao sredstvo za prijenos tlaka (Knorr i sur., 2011). Tradicionalno, tlačne posude su dizajnirane tako da omogućuju tretman u malim količinama i ciklusima niske frekvencije, tj. nekoliko kompresijskih i dekompresijskih ciklusa u danom vremenu. Međutim, za obradu velikih količina, prehrambena industrija zahtijeva cikluse visokih frekvencija, tj. nekoliko ciklusa kompresije i dekompresije tijekom određenog vremena. Tlak se prenosi jednako u svim smjerovima uzorka, stoga je vrijeme potrebno za obradu tlakom neovisno o formi ili veličini hrane za razliku od toplinskih tretmana (Medina-Meza i sur., 2013; Huang i sur., 2014). Stvaranje tlaka unutar posude može se postići izravnom kompresijom, gdje je volumen komore smanjen djelovanjem hidrauličnog pritiska koji se primjenjuje na klip i indirektnom kompresijom. U tim sustavima koristi se pojačivač ili visokotlačna pumpa koja izravno pumpa medij pod tlakom u posudu da dosegne zadani pritisak (San Martin i sur., 2002). Tlak se održava željeno vrijeme tretmana i zatim se oslobađa. Primijenjeni tlak i vrijeme zadržavanja ovisit će o vrsti tretiranog proizvoda i očekivanom konačnom rezultatu. Općenito, inaktivacija enzima zahtijeva korištenje većih tlakova od pritisaka koji se koriste za inaktiviranje mikroorganizama (San Martin i sur., 2002).



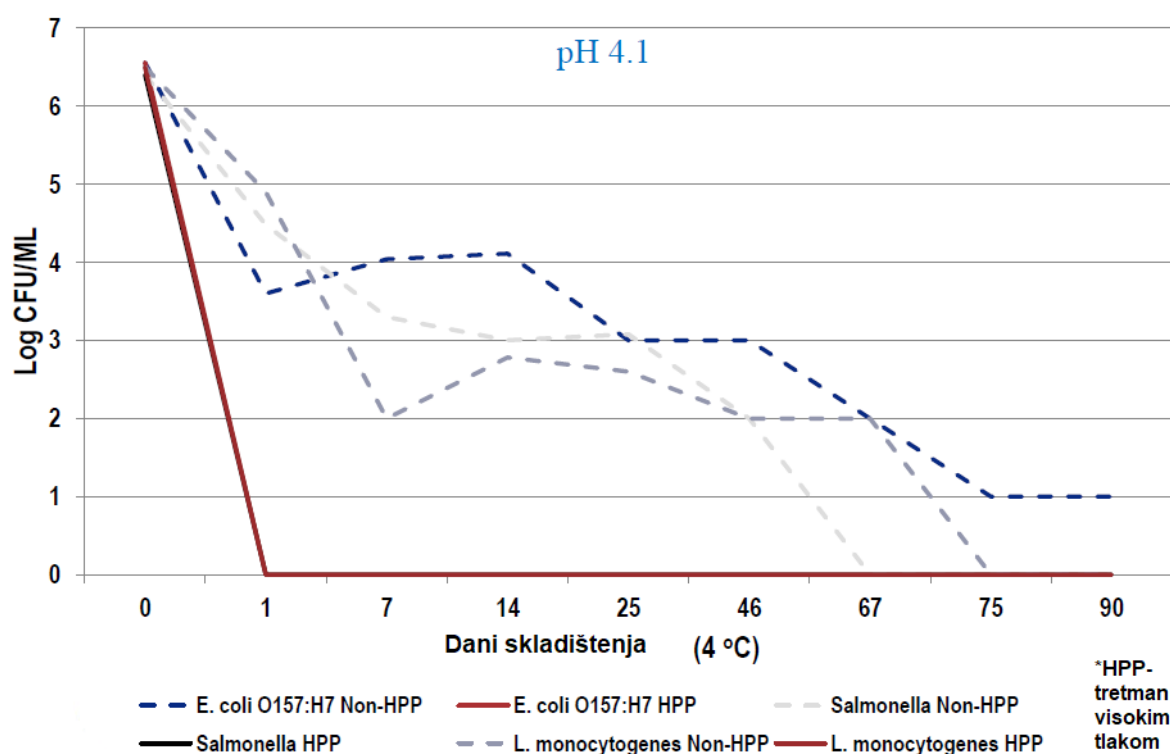
Slika 5. Prikaz osnovnih dijelova uređaja za VHT (Naik i sur., 2013)

U usporedbi s tradicionalnom tehnologijom toplinske obrade, VHT se izvodi na sobnoj temperaturi, smanjujući potrošnju energije povezanu s grijanjem i naknadnim hlađenjem. Osim toga, hrana je u pakiranom obliku čime se sprečava sekundarna kontaminacija. Dodatno, medij za prijenos tlaka može se reciklirati nakon prerade. Uz prednosti niske

potrošnje energije i nizak rizik kontaminacije, VHT tehnologija je **ekološka tehnologija** obrade (Huang i sur., 2017).

2.2.1 Primjena visokog hidrostatskog tlaka u industriji voćnih sokova

Iako tehnologija termičke pasterizacije ostaje primarna termička obrada u prehrambenoj industriji, često može rezultirati nepoželjnim efektima po izgled, okus i prehrambenu vrijednost obrađene namirnice te ne nužno zadovoljiti zahtjeve suvremenog potrošača za prirodnom, svježom i estetski privlačnom hranom. Obrada VHT-om osigurava zdravstvenu ispravnost namirnice (FDA 5-log Pathogen Rule, slika 4), pri čemu u visokoj mjeri zadržava organoleptička svojstva i nutritivne vrijednosti proizvoda. U tom smislu, tehnologija VHT može zadovoljiti potražnju potrošača za sigurnom, nutritivno vrijednom, novom hranom s manje dodanih aditiva (Huang i sur., 2017).



Slika 6. Usporedba log-redukcije patogenih mikroorganizama u netretiranom i VHT tretiranom soku od jabuke (pH 4,1) tijekom skladištenja pri 4 °C (Avure HPP foods, 2018)

VHT tehnologija osobito se smatra učinkovitom kod proizvoda koji se hladno skladište ($\pm 4^{\circ}\text{C}$), primjerice svježe hladno prešanih sokova ili smoothie-ja, obzirom može očuvati i

biološku i mikrobiološku stabilnost tijekom skladištenja (Andres i sur., 2016). Primjena VHT pri sobnoj temperaturi inaktivira mikroorganizme u vegetativnom obliku bez značajne promjene senzorskih i nutritivnih svojstava voća i povrća (Seifert i sur., 2016). Subasi i Aplas (2017) ispitali su utjecaj termičke obrade (85 °C/10 min) i obrade VHT-om (200, 300, 400 MPa; 5 °C, 15 °C i 25 °C; 5 i 10 min) na parametre kvalitete soka od šipka. Rezultati ove studije upućuju da je VHT obrada pri 400 MPa tijekom 10 min dostatna za 4,0 log mikrobnu redukciju. Također, za razliku od termički tretiranih uzoraka, svi sokovi tretirani VHT-om nisu pokazali značajni gubitak antioksidacijskog kapaciteta, ukupnih fenola i monomernih antocijana ($p \leq 0.05$).

Naime, tlak od 50 MPa može inhibirati sintezu proteina u mikroorganizmima i smanjiti broj ribosoma, tlak od 100 MPa može inducirati parcijalnu denaturaciju proteina, dok tlak od 200 MPa uzrokuje oštećenje stanične membrane i unutarnje strukture stanica. Povećanjem tlaka iznad 300 MPa inducira se denaturacija enzima i proteina, što uzrokuje rupturu stanične membrane i izlučivanje unutrašnjih tvari, te naposljetku rezultira bakterijskom redukcijom (Huang i sur., 2014). Unatoč tome što tretman tlakom mijenja strukturalnu konformaciju enzima/proteina, što može dovesti do djelomične i/ili potpune inaktivacije, ponekad može dovesti i do suprotnog efekta. Naime, relativno mali tlak (~100-200 MPa) može aktivirati neke enzime, dok visoki tlak (400-1000 MPa) može izazvati njihovu inaktivaciju. Stoga, u većini povrća i njihovih proizvoda, samo tlak nije dovoljan za inaktivaciju enzima te se treba kombinirati s toplinskim procesom (Raso i Barbosa-Cánovas, 2003; Mujica-Paz i sur., 2011).

Obrada VHT slabije utječe na spojeve male molekularne mase jer se prekid kovalentnih veza ne javlja pri tlaku ispod 2 GPa, zbog svoje vrlo male kompresibilnosti. Stoga, primarna struktura hlapivih spojeva, pigmenta, vitamina i ostalih spojeva povezani sa senzorskim, prehrambenim i zdravstvenim aspektima hrane su manje ili vrlo rijetko degradirani (Oey i sur., 2008; Huang i sur., 2014).

Ipak, uz sve brojne prednosti ove tehnologije, u industrijskom smislu, javljaju se i neki limitirajući faktori. Prvenstveno, to su troškovi opreme, šaržni rad, ograničene mogućnosti pakiranja, a za potpuni antimikrobni efekt namirnica bi trebala sadržavati min. 40 % vode, stoga je moguća i mikrobiološka kontaminacija VHT tretirane namirnice (Muntean i sur., 2016). Danas se tehnologija VHT komercijalno koristi u pasterizaciji mesa i povrća, pasterizaciji i sterilizaciji voća, umaka, jogurta i dresinga za salate (Muntean i sur., 2016). U Tablici 1. prikazani su proizvodi od voća/povrća trenutno prisutni na tržištu, a obrađeni tehnologijom VHT.

Tablica 1. Prikaz prehrambenih proizvoda tretiranih VHT koji su trenutno prisutni na tržištu
(Galanakis, 2015)

Država	Proizvodi	VHT tretman			Rok trajanja
		Tlak (MPa)	Temperatura(°C)	Vrijeme (min)	
Češka	Sok od brokule, jabuke ili mrkve	500	20	10	21 d
Francuska	Sokovi	400	20	10	18 dana, 4°C
	Sokovi od naranče	500	20	5-10	-
Italija	Voćni sokovi, deserti od voća	600	17	3-5	1-2 mjeseca
Japan	Džemovi, umaci i želei	400	20	10-30	2-3 mjeseca, 4°C
	Sok od grožđa	120-400	23	2-20	-
	Sok od mandarina	300-400	23	2-20	-
	Sake	400	15	30	6-12 mjeseci, 4°C
Lebanon	Voćni sokovi	500	-	-	1 mjesec
Meksiko	Smoothiji, sokovi od citrusa	500	-	-	-
Portugal	Sokovi	450	12	0.33-1.5	28 dana
Španjolska	Pripremljena jela od povrća	500	-	-	-
Švedska	Sokovi od voća	500-600	-	-	-
Ujedinjeno Kraljevstvo	Sokovi od naranče	500	20	-	-
SAD	Pire od avokada	700	-	10	-
	Sokovi od jabuke	700	-	-	dva do tri puta više od svježeg soka
	Proizvodi od avokada, salate od povrća, sokovi od naranče, limunade, rezani luk	700			45 dana

U posljednjem desetljeću došlo je do znatnog porasta broja komercijalno dostupnih namirnica obrađenih VHT. Takvi proizvodi se prodaju u Japanu još od 1990., a u Sjedinjenim Državama i Europi od 1996. (Zhang i sur., 1995; Rizvi i Tong, 1997; Körmendy i sur.,1998). U novije vrijeme ispituje se potencijalna primjena VHT u obradi nusproizvoda prehrambene

industrije, bilo kao predtretmana ili tehnike ekstrakcije, a sve sa svrhom izolacije visoko vrijednih sastojaka te njihove ponovne uporabe (Galanakis, 2015).

2.1.2 Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na boju voćnih sokova

Za sok od jabuka, parametri boje i okusa važni su pokazatelji kvalitete. Boja soka od jabuka vrlo je nestabilna te se mijenja tijekom i/ili nakon obrade zbog enzimskih i neenzimskih reakcija (Yi i sur., 2017). Enzimi poput polifenol oksidaza (PPO) i peroksidaze (POD) imaju značajan utjecaj na boju, ali i na okus soka od jabuka (Terefe, Buckow, Versteeg, 2014). Boja soka se prema CIE LAB modelu najčešće definira s četiri parametara: L^* , a^* , b^* i ΔE^* .

Yi i sur. (2017) analizirali su promjenu boje u mutnim sokovima od jabuke (cv. Pink Lady, Granny Smith i Jonagold) nakon tretmana VHT (600 MPa, 3 min) i termalne pasterizacije (85 °C, 5 min). U usporedbi s kontrolnim netretiranim uzorcima, razlika u vrijednostima L^* , a^* i b^* kod VHT tretiranih sokova nije bila značajna. Međutim termalna pasterizacija rezultirala je značajnom promjenom boje, što je rezultiralo povećanjem L^* i smanjenjem b^* vrijednosti ($p < 0,05$) te visokom vrijednošću za promjenu boje ($\Delta E^* > 6,0$). U konačnici, autori zaključuju da tretman VHT povoljnije djeluje na parametre boja soka od jabuke u usporedbi sa termičkom pasterizacijom, dok je termička pasterizacija bila učinkovitija u inaktivaciji enzima PPO i POD. Barba i sur. (2014) također su potvrdili da su PPO i POD prilično otporne na VHT.

Slični rezultati ishodili su iz istraživanja Landl i sur. (2010) gdje se pratila kvaliteta kaše jabuke (cv. Granny Smith) uslijed VHT tretmana (400 i 600 MPa/5min/20 °C) i blagog termičkog tretmana (75 °C/10 min). Rezultati pokazuju da je termički tretman značajno utjecao na parametre boje kaše a^* i b^* , ukazujući na prisutnost neenzimskog posmeđivanja poradi većeg udjela crvene i žute komponente. S druge strane, VHT je neznatno utjecao na povećanje L^* vrijednosti, što ukazuje na posvijetljene površine kaše, uz relativno konstante koordinate boja a^* i b^* . Ipak, tijekom skladištenja uzoraka, došlo je do promjena boje i to slijedom: (i) VHT (400 MPa) - $\Delta E^* = 16,4 \pm 0,8$; (ii) VHT (600 MPa) - $\Delta E^* = 17,7 \pm 0,8$ i (iii) termička pasterizacija - $\Delta E^* = 5,3 \pm 0,4$, čime se potvrđuje da je promjena boje manje tijekom vremena (7, 14, 21 dan) bila izraženija u VHT uzorcima kaše jabuke.

Utjecaj VHT (200-600 MPa, 2,5 i 5 min) na stabilnost parametara boje u kaši aronije nedavno su proučavali Yuan i sur. (2018). Rezultati njihovog istraživanja ukazuju da VHT

značajno ne utječe na L^* , a^* , i b^* vrijednosti. Za sve VHT tretmane, ΔE^* u odnosu na kontrolni netretirani uzorak iznosio je od 0.17 (400 MPa, 2.5 min) do 0.49 (200 MPa, 5 min). Obzirom boja kaše aronije potječe od pigmenata antocijana i tretman VHT je proveden pri sobnoj temperaturi, do narušavanja strukture istih ipak nije došlo jer visoki tlak ne utječe na konformaciju malih molekula kao što su antocijani (Landl i sur., 2010), tako da je boja uslijed tretmana tlakom ostala stabilna.

3. ZAKLJUČAK

Iako tehnologija termičke pasterizacije ostaje primarna termička obrada u prehrambenoj industriji, često može rezultirati nepoželjnim efektima po izgled, okus i prehrambenu vrijednost obrađene namirnice te ne nužno zadovoljiti zahtjeve suvremenog potrošača za prirodnom, svježom i estetski privlačnom hranom. S jedne strane, obrada visokim tlakom (VHT) pruža mogućnost proizvodnje namirnica s maksimalno očuvanim prirodnim svojstvima, a s druge strane tako obrađene namirnice odlikuju se produljenim rokom trajnosti i mikrobiološkom ispravnosti.

U usporedbi s tradicionalnom tehnologijom toplinske obrade, VHT se izvodi na sobnoj temperaturi, smanjujući potrošnju energije povezanu s grijanjem i naknadnim hlađenjem. Osim toga, hrana je u pakiranom obliku čime se sprečava sekundarna kontaminacija. Dodatno, medij za prijenos tlaka može se reciklirati nakon prerade. Uz prednosti niske potrošnje energije i nizak rizik kontaminacije, VHT tehnologija je ekološka tehnologija obrade. Ipak, uz sve brojne prednosti ove tehnologije, u industrijskom smislu, javljaju se i neki limitirajući faktori, a to su prvenstveno troškovi opreme. Međutim, za većinu voćnih vrsta i njihovih proizvoda, sam visoki tlak nije dovoljan za inaktivaciju enzima te se treba kombinirati s toplinskim procesom.

4. LITERATURA

Alberti A., Zielinski A. A. F., Couto M., Judacewski P., Nogueira A., Mafra L. I. (2017) Distribution of phenolic compounds and antioxidant capacity in apples tissues during ripening. *Journal of Food Science and Technology* **54(6)**:1511-1518.

Andrés V., Villanueva M. J., Tenorio M. D. (2016) The effect of high-pressure processing on color, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage. *Food Chemistry* **192**: 328-335.

Andoh A., Tsujikawa T., Fujiyama Y. (2003) Role of dietary fiber and short-chain fatty acids in the colon. *Current pharmaceutical design* **9(4)**: 347-358.

Amiot M. J., Tacchini M., Aubert S., Nicolas J. (1992) Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science* **57(4)**: 958–962.

Anese M., Nicoli M. C., Dall'Aglio G., Lerici C. R. (1995) Effect of high pressure treatments on peroxidase and polyphenoloxidase activities. *Journal of Food Biochemistry* **18**: 285–293.

Aprikian O., Duclos V., Guyot S., Besson C., Manach C., Bernalier A., Demigne C. (2003) Apple pectin and a polyphenol-rich apple concentrate are more effective together than separately on cecal fermentations and plasma lipids in rats. *The Journal of nutrition* **133(6)**:1860-1865.

Asaka M., Hayashi R. (1991) Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. *Agricultural and Biological Chemistry* **55 (9)**: 2439–2440.

Avure (2018) < <https://www.avure-hpp-foods.com>> Pristupljeno 21.03.2018.

Awad M. A., Wagenmakers P. S., de Jager A. (2001) Effects of light on flavonoid and chlorogenicacid levels in the skin of 'Jonagold' apples. *Scientia Horticulturae* **88(4)**: 289-298.

Barba F. J., Criado M. N., Belda-Galbis C. M., Esteve M. J., Rodrigo D. (2014) *Stevia rebaudiana* Bertoni as a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: Processing parameter optimization. *Food Chemistry* **148**: 261-267.

Blum, P. (1997) Reflectance spectrophotometry and colorimetry U: Physical properties handbook: A guide to the shipboard measurement of physical properties of deep-sea cores, College Station, Texas, str. 1-11.

Bondonno N. P., Bondonno C. P., Ward N. C., Hodgson J. M., Croft K. D. (2017) The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology* **69 (Part B)**: 243 - 256.

Braga C. M., Zielinski A. A. F., Silva K. M., Souza F. K. F., Pietrowski G. A. M., Couto M., Granato D., Wosiacki G., Nogueira A. (2013) Classification of juices and fermented beverages made from unripe, ripe and senescent apples based on the aromatic profile using chemometrics. *Food Chemistry* **141(2)**: 967–974.

Chang Y. H., Wu S. J., Chen B. J., Huang H. W., Wang, C. Y. (2016) Effect of high pressure processing and thermal pasteurization on overall quality parameters of white grape juice. *Journal of the science of food and agriculture* **97(10)**: 3166-3172.

Deun E., Werf R., Lebaill G., Quéré J. M., Guyot S. (2015) HPLC-DAD-MS profiling of polyphenols responsible for yelloworange color in apple juices of different French cider apple varieties. *Journal of Agricultural Food Chemistry* **63(35)**: 7675-7684.

Escarpa A., Gonzalez M. (1998) High-performance liquid chromatography with diode-array detection for the determination of phenolic compounds in peel and pulp from different apple varieties. *Journal of Chromatography A* **823(1)**: 331-337.

Francini A., Sebastiani L. (2013) Phenolic compounds in apple (*Malus x domestica* Borkh.): Compounds characterization and stability during postharvest and after processing. *Antioxidants* **2**: 181-193.

Furness J. B., Cottrell J. J., Bravo D. M. (2015) Comparative gut physiology symposium: Comparative physiology of digestion. *Journal of animal science* **93(2)**: 485-491.

Galanakis C. M. (2015) Food waste Recovery. Elsevier, Amsterdam, str. 354.

Garcia-Palazon A., Suthanthangjai W., Kadja P., Zabetakis I. (2004) The effects of high hydrostatic pressure on glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria ananassa*). *Food Chemistry* **88**: 7–10.

Gardner P. T., White T. A. C., McPhail D. B., Duthie, G. G. (2000) The relative contributions of vitamin C, carotenoids, and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry* **68**: 471–474.

Gliszczynska-Swiglo A., Tyrakowska B. (2003) Quality of commercial apple juices evaluated on the basis of the polyphenol content and the TEAC antioxidant activity. *Journal of Food Science* **68**: 1844–1849.

Hertog M. G. L., Feskens E. J. M., Hollman P. C. H., Katan M. B., Kromhout D. (1994) Dietary flavonoids and cancer risk in the Zutphen elderly study. *Nutrition and Cancer* **22**: 175-184.

Huang H. W., Wu S. J., Lu J. K., Shyu Y. T., Wang C. Y. (2017) Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control* **72**: 1-8.

Huang H. W., Lung H. M., Yang B. B., Wang C. Y. (2014) Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control* **40**: 250-259.

Janick J., Cummins J., N., Brown S. K., Hemmat M. (1996) Apples. U: Fruit Breeding, Janick J., Moore J. N., ur., John Wiley & Sons, New York, str. 1-77.

Jiang T., Gao X., Wu C., Tian F., Lei Q., Bi J., Wang X. (2016). Apple-derived pectin modulates gut microbiota, improves gut barrier function, and attenuates metabolic endotoxemia in 1 rats with diet-induced obesity. *Nutrients* **8(3)**: 126.

Kadakal C., Nas S. (2003) Effect of heat treatment and evaporation on pautlin and some other properties of apple juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **83**: 987-990.

Khanizadeh S., Rupasinghe H. P. V. (2008) Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for processing. *Journal of Food Composition Analysis* **21**: 396-401.

Knorr D., Froehling A., Jaeger H., Reineke K., Schuleter O., Schoessler K. (2011) Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology* **2**: 203-235.

Körmendy I., Körmendy L., Ferenczy A. (1998) Thermal inactivation kinetics of mixed microbial populations. A hypothesis paper. *Journal of Food Engineering* **38**: 439–453.

Landl A., Abadias M., Sarraga C., Vinas I., Picouet P. (2010) Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple puree product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **11(4)**: 557- 564.

Li B. W., Andrews K. W., Pehrsson P. R. (2002) Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of high consumption foods. *Journal of food composition and analysis* **15(6)**: 715-723.

Lovrić T., Piližota V. (1994) Konzerviranje i prerada voća i povrća. Nakladni Zavod Globus, Zagreb, str. 83.-65.

Markowski J., Plocharski W. (2006) Determination of phenolic compounds in apples and processed apple products. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* **14(2)**: 133-142.

Manzano S., Williamson G. (2010) Polyphenols and phenolic acids from strawberry and apple decrease glucose uptake and transport by human intestinal Caco-2 cells. *Molecular nutrition & food research* **54(12)**: 1773-1780.

McClements J. M. J., Patterson M. F., Linton M. (2001) The effect of growth stage and growth temperature on high hydrostatic pressure inactivation of some psychrotrophic bacteria in milk. *Journal of Food Protection* **64(4)**: 514-522.

Medina-Meza I. G., Barnaba C., Barbosa-Cánovas G. V. (2013) Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **22**: 1-10.

Miller N. J. (1998) Flavonoids and phenylpropanoids as contributors to the antioxidant activity of fruit juices. U: Flavonoids in health and disease, Rice-Evans C. A, Packer L., ur., New York, Mercel Dekker, Inc., str. 387–403.

Mor-Mur M., Escriu R., Yuste J. (2014) Microbiological aspects of high-pressure processing. U: *Emerging Technologies for Food Processing*, Sun D. W., ur. Elsevier, str. 77-90.

Mújica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Samson C. T., Welte-Chanes J., Torres J. A. (2011) High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food Bioprocess Technology* **4**: 969-985.

Muntean M. V., Marian O., Barbieru V., Catunescu G. M., Ranta O., Drocas I., Terhes S. (2016) High Pressure Processing in Food Industry- Characteristics and Applications. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **10**: 337-383.

Naik L., Sharma R., Rajput Y. S., Manju G. (2013) Application of high pressure processing technology for dairy food preservation - Future perspective: A Review. *Journal of Animal Production Advances* **3(8)**: 232-241.

Oey I., Plancke, I. V., Loey A. V., Hendrickx M. (2008). Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? *Trends in Food Science and Technology* **19**: 300- 308.

Ohta N., Robertson A. R. (2005) Colorimetry fundamentals and applications. John Wiley & Sons Ltd, England.

Oszmiański J., Wojdyło A., Kolniak J. (2009) Effect of enzymatic mash treatment and storage on phenolic composition, antioxidant activity and turbidity of cloudy apple juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57(15)**: 7078- 7085.

Özoglu H., Bayindirli A. (2002) Inhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Control* **13**: 213–221.

Pravilnik o voćnim sokovima i njima sličnim proizvodima namijenjenim za konzumaciju (2013) Narodne novine **48**, Zagreb.

Proteggente A. R., Pannala A. S., Paganga G., Van Buren L., Wagner E., Wiseman S., Van De Put F., Dacombe C., Rice-Evans C. A. (2002) The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radical Research* **36(2)**: 217 - 233.

Putnik P., Bursać Kovačević D., Herceg K., Levaj B. (2017a) Influence of anti-browning solutions, air exposure, and ultrasound on color in fresh-cut apples during storage. *Journal of Food Processing and Preservation* **41(6)** : e13288.

Putnik P., Bursać Kovačević D., Herceg K., Pavkov I., Levaj B. (2017b) Effects of modified atmosphere, anti-browning treatments and ultrasound on the polyphenolic stability, antioxidant capacity and microbial growth in fresh-cut apples. *Journal of Food Process Engineering* **40(5)**: 12539-12539.

Queiroz C., Mendes L., Maria L., Fialho E., Valente-Mesquita V. L. (2008) Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International* **24(4)** :361 - 375.

Ramos-Aguilar A. L., Victoria-Campos C. I., Ochoa-Reyes E., de Jesús Ornelas-Paz J., Zamudio-Flores P. B., Rios-Velasco C., Reyes-Hernández J., Pérez-Martínez J. D., Ibarra-Junquera V. (2017) Physicochemical properties of apple juice during sequential steps of the industrial processing and functional properties of pectin fractions from the generated pomace. *LWT - Food Science and Technology* **86**: 465-472.

Raso J., Barbosa-Cánovas G. V. (2003) Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **3**: 265-285.

Ravn-Haren G., Dragsted L. O., Buch-Andersen T., Jensen E. N., Jensen R. I., Nemeth-Balogh M., Licht T. R. (2013) Intake of whole apples or clear apple juice has contrasting effects on plasma lipids in healthy volunteers. *European journal of nutrition* **52(8)**: 1875-1889.

Rizvi A. F., Tong C.H. (1997) Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *Journal of Food Science* **62**: 1–7.

Roupas P., Noakes M. (2010) apples, their antioxidants and benefits to human health. Australia: CSIRO:1-56.

San Martín M. F., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson B., G. (2002) Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **42(6)**: 627-645.

Schanda, J. (2007) Colometry – Understanding the CIE System. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, str. 25-78.

Schwartz S. E., Levine R. A., Weinstock R. S., Petokas S. Mills C. A., Thomas F. D. (1988). Sustained pectin ingestion: effect on gastric emptying and glucose tolerance in non-insulin dependent diabetic patients. *The American Journal of Clinical Nutrition* **48(6)**: 1413-1417.

Seifert B., Zude-Sasse M. (2016) High hydrostatic pressure effects on spectral-optical variables of the chlorophyll pool in climacteric fruit. *LWT — Food Science and Technology* **73**: 303-310.

Shahidi F., Ambigaipalan P. (2015) Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects: A review. *Journal of Functional Foods* **18**: 820-897.

Shoji T., Miura T. (2014) Apple polyphenols in cancer prevention. U: Polyphenols in human health and disease, R. R. Watson V, R., Preedy S., Zibadi, ur., str.1373–1383.

Solovchenko A., Schmitz-Eiberger M. (2003) Significance of skin flavonoids for UV-B-protection in apple fruits. *Journal of experimental botany* **54(389)**: 1977-1984.

Suárez-Jacobo Á., Rüfer C. E., Gervilla R., Guamis B., Roig-Sagués A. X., Saldo J. (2011) Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. *Food Chemistry* **127(2)**: 447–454.

Subasi B. G., Alpas H. (2017). Effect of high hydrostatic pressure processing and squeezing pressure on some quality properties of pomegranate juice against thermal treatment. *High Pressure Research* **37(1)**: 78-92.

Terefe N. S., Buckow R., Versteeg C. (2014) Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: Effects of novel food processing technologies, part 1: Highpressure processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **54(1)** : 24-63.

Wang X., Ouyang Y., Liu J., Zhu M., Zhao G., Bao W., Hu F. B. (2014) Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *British Medical Journal* **349**: 4490.

Yi J., Kebede B. T., Hai Dang H. D., Buv_e C., Grauwet T., Van Loey A., Hu X., Hendrickx M. (2017) Quality change during high pressure processing and thermal processing of cloudy apple juice. *Food Science and Technology* **75**: 85-92.

Yuan B., Danao. M. G. C., Stratton J. E., Weier S. A., Weller C. L., Lu M. (2018) High pressure processing of aronia berry puree: Effects on physicochemical properties, microbial counts, biactive compounds, and antioxidant capacities. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **47**: 249-255.

Zardo D. M., Silva K. M., Guyot S., Nogueira A. (2013) Phenolic profile and antioxidant capacity of the principal apples produced in Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition* **64(5)**: 611–620.

Zhang Q., Barbosa-Cánovas G., Swanson B. (1995) Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering* **25 (2)**: 261–281.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



ime i prezime studenta